

Sensor especially an acceleration, inclination, vibration or rotational speed sensor useful in automobiles, robotics, medicine, measurement and control or machine construction

Patent number: DE19825298
Publication date: 1999-12-16
Inventor: FAUL ROBERT (DE)
Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)
Classification:
- **International:** G01P15/00; G01D5/30; G01P15/14; G01P15/10; H01L49/00
- **European:** G01P15/08A; G01P15/08D
Application number: DE19981025298 19980605
Priority number(s): DE19981025298 19980605

Abstract of DE19825298

A sensor structure has light detectors for detecting light passage through openings in a structured semiconductor layer. A sensor structure for measuring acceleration or related parameters has a seismic mass which is structured in a semiconductor layer (1) on a substrate (2) and which is moved by force or acceleration, the combination of the semiconductor layer and the seismic mass having openings perpendicular to the plane of the acceleration. The novelty is that light detectors are provided on the substrate for detecting light which passes perpendicular to the acceleration plane through the openings. An Independent claim is also included for production of the above sensor structure. Preferred Features: The substrate is a silicon substrate and the semiconductor layer consists of single crystal silicon. Each light detector (3) is an electronic device integrated in the substrate and has a light sensitive region with an impedance which varies in accordance with the incident light. The openings form a stripe structure and have an aspect (height/width) ratio of greater than 3. The semiconductor layer is formed by wafer bonding of a second substrate. The seismic mass is designed such that the light detectors emit a maximum or minimum signal. A deflection limiting element is provided for limiting the maximum deflection of the seismic mass and comprises a bending beam which allows two-stage deflection limiting.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 198 25 298 C 2

⑤ Int. Cl.⁷:
G 01 P 15/00
G 01 D 5/30
G 01 P 15/14
G 01 P 15/10
H 01 L 49/00

⑳ Aktenzeichen: 198 25 298.6-52
㉔ Anmeldetag: 5. 6. 1998
㉕ Offenlegungstag: 16. 12. 1999
㉖ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 13. 2. 2003

DE 198 25 298 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

㉘ Erfinder:

Faul, Robert, Dipl.-Ing., 80639 München, DE

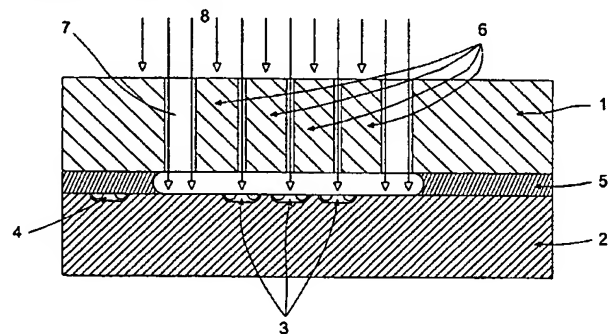
㉙ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 19 844 A1
DE 41 36 510 A1
DE 35 40 947 A1
EP 08 10 440 A2

Sensors and Actuators A 49 (1995) 149-154;

㉚ Verfahren zur Herstellung einer Sensoranordnung und Sensoranordnung

㉛ Verfahren zur Herstellung einer Sensoranordnung zur
Messung von Beschleunigungen oder Meßgrößen, die
sich auf Beschleunigung zurückführen lassen, mit den
Schritten zum
Bereitstellen eines ersten Halbleiter-Substrats (2),
Anbringen mindestens einer Lichtnachweiseinrichtung
(3) auf dem ersten Halbleiter-Substrat (2),
zumindest teilweises Anbringen einer Halbleiterschicht
(1) auf dem ersten Halbleiter-Substrat (2),
Herausstrukturieren einer seismischen Masse (6) aus der
Halbleiterschicht (1), wobei die seismische Masse (6) auf-
grund einer Kraft oder Beschleunigung beweglich ist,
Herausstrukturieren mindestens einer Aussparung (7)
senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung in
der seismischen Masse (6),
wobei die Lichtnachweiseinrichtung (3) geeignet ist, Licht
(8), das senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung
durch die mindestens eine Aussparung (7) der seismischen
Masse (6) durchgegangen ist, nachzuweisen,
dadurch gekennzeichnet, daß
das erste Halbleiter-Substrat (2) ein erster Halbleiter-Wafer
ist und der Schritt zum zumindest teilweisen Anbringen
einer Halbleiterschicht (1) auf dem ersten Halbleiter-
Substrat (2) den Schritt zum Verbinden des ersten Halblei-
ter-Substrats (2) mit einem zweiten Halbleiter-Wafer um-
faßt, und
der Schritt zum Herausstrukturieren der mindestens ei-
nen Aussparung (7) nach dem Schritt zum Verbinden des
ersten Halbleiter-Substrats (2) mit dem zweiten Halbleiter-
Wafer auf Waferebene erfolgt.



DE 198 25 298 C 2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Sensoranordnung zur Erfassung der Beschleunigung oder von Meßgrößen, die sich auf die Beschleunigung zurückführen lassen (z. B. Neigung, Vibration, Drehrate), und insbesondere ein Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1.

[0002] Derartige Sensoranordnungen sind weitverbreitet einsetzbar. Beschleunigungssensoren beispielsweise sind insbesondere in der Automobilbranche, für Robotik, in der Medizintechnik und im Maschinenbau verwendbar, Neigungssensoren sind im Maschinenbau, der Meß- und Regelungstechnik verwendbar, und Vibrationssensoren sind ebenfalls im Maschinenbau, der Meß- und Regelungstechnik verwendbar. Drehratensensoren sind in der Automobilbranche, für Robotik, in der Medizintechnik, im Maschinenbau und in der Meß- und Regelungstechnik verwendbar.

[0003] Aus der Offenlegungsschrift DE 44 19 844 A1 ist eine Sensoranordnung bekannt, bei der auftretende Beschleunigungen mittels einer seismischen Masse kapazitiv gemessen werden. Die seismische Masse ist bei diesem bekannten Beschleunigungssensor durch eine oder mehrere bewegliche Streifen- bzw. Elektrodenstrukturen, welche auf einem Substrat gemeinsam mit einer unbeweglichen Elektrodenstruktur angeordnet sind, realisiert. Durch Einwirkung einer Beschleunigung kann die bewegliche Streifen- bzw. Elektrodenstruktur ihre Ortslage ändern. Durch diese Änderung der Ortslage wird die Kapazität zwischen beweglicher Streifen- bzw. Elektrodenstruktur und unbeweglicher Elektrodenstruktur verändert, so dass durch eine Auswertung des Kapazitätssignals die einwirkende Beschleunigung ermittelt werden kann. Ein Nachteil dieser kapazitiven Signalverarbeitung besteht darin, daß sehr kleine Abstände zwischen den Streifenstrukturen vorhanden sein müssen, um ausreichend große Kapazitätswerte zu erreichen. Kleine Abstände verursachen aber auch technologisch fortgeschrittene Probleme hinsichtlich der Fertigbarkeit, des Stükkings, d. h. des Anhaftens aufgrund von Adhäsionskräften, beispielsweise Coulombkraft und van-der-Waals-Kraft, oder der Robustheit gegen Überlastung. Ein weiterer Nachteil der bekannten Sensoranordnung besteht darin, dass eine sorgfältige elektrische Isolierung der einzelnen Bereiche notwendig ist, so daß keine Kurzschlüsse zwischen den einzelnen Elektroden auftreten. Insbesondere ist es jedoch auch notwendig, niederohmig leitfähige Verbindung von den Kapazitätsstrukturen und somit der seismischen Masse zu weiterführenden elektrischen Anschlußstellen des Bauelements herzustellen.

[0004] Ein weiterer Beschleunigungssensor ist aus der Offenlegungsschrift DE 41 36 510 A1 bekannt. Dieser Beschleunigungssensor umfasst eine auf die Beschleunigungen ansprechende plattenartige und über einen oder mehrere Stege beweglich gehaltene, seismische Masse mit zumindest einer Lichtquelle, deren auf oder über die seismische Masse geleiteter Lichtstrahl in Abhängigkeit der Bewegungen der seismischen Masse abgelenkt wird, und mindestens eine optische Detektoreinrichtung, die die beschleunigungsabhängige Ablenkung mißt. Genauer gesagt ist bei diesem Beschleunigungssensor die Lichtquelle direkt auf der seismischen Masse angebracht, und der Lichtstrahl wird in der Ebene, in der die Beschleunigung auftritt, emittiert.

[0005] Darüber hinaus ist aus der Offenlegungsschrift DE 35 40 947 A1 noch ein weiterer Beschleunigungssensor bekannt. Bei diesem Beschleunigungssensor läßt sich durch geeignete Ausbildung der Form der seismischen Masse die Lage des Schwerpunkts entsprechend einstellen, so daß die Beschleunigungsschwelle eingestellt werden kann. Die seismische Masse ist dabei als ein Zylinder oder eine Scheibe ausgebildet. Entsprechend ist der Beschleunigungssensor recht voluminös, weist eine hohe Masse auf und ist schwierig herzustellen.

[0006] Aus der europäischen Patentanmeldung EP 0 810 440 A2 ist ein Beschleunigungssensor bekannt, der aus einem optischen Halbleiter-Bauelement und einer seismischen Masse besteht. Die seismische Masse ist relativ zu einem Substrat und einem darin integrierten Photodetektor verschiebbar. Durch Licht, das senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung durch mindestens eine Aussparung durchgegangen ist, wird die Beschleunigung nachgewiesen.

[0007] Aus dem Zeitschriftenartikel "Sensors and Actuators" A 49 (1995), 149-154, ist ebenfalls ein optischer Beschleunigungssensor bekannt. Die seismische Masse wirkt hier wie ein optischer Verschluss und besteht aus gleichmäßig beabstandeten, vertikal geätzten Gräben. Es werden hier zunächst die Substrate, auf denen die Photodetektoren bereitgestellt sind, fertiggestellt und die zugehörigen seismischen Massen separat aus einem Silizium-Wafer herausstrukturiert, wobei auch eine Vereinzelung der einzelnen seismischen Massen stattfindet, und anschließend die vereinzelten seismischen Massen mit den jeweiligen Substraten, auf denen die Photodetektoren bereitgestellt sind, verbunden.

[0008] Ausgehend von "Sensors and Actuators" A 49 (1995), 149-154, als nächstliegenden Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, das Verfahren zur Herstellung einer Sensoranordnung zu vereinfachen sowie eine Sensoranordnung bereitzustellen, die in ihren Eigenschaften gegenüber bekannten Anordnungen verbessert ist und deren Herstellungsverfahren u. a. hinsichtlich der gleichförmig guten Reproduzierbarkeit deutlich vereinfacht ist. Die neue Sensoranordnung hat eine geringere Masse als traditionelle feinmechanische Lösungen; die Anforderungen an die Feinheit von z. B. Fingerstrukturen sind entschärft und das Verfahren zur Herstellung der Sensoranordnung ist einfach und kostengünstig.

[0009] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Aufgabe durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche 1 und 21 gelöst.

[0010] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0011] Die vorliegende Erfindung betrifft somit eine Sensoranordnung zur Messung von Beschleunigungen oder Meßgrößen, die sich auf Beschleunigung zurückführen lassen, mit einem ersten Substrat mit einer auf dem Substrat zumindest teilweise angebrachten Halbleiterschicht, aus der eine seismische Masse herausstrukturiert ist, wobei die seismische Masse aufgrund einer Kraft oder Beschleunigung beweglich ist und die Anordnung aus Halbleiterschicht und seismischer Masse mindestens eine Aussparung senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung aufweist, mit mindestens einer auf dem ersten Substrat angeordneten Lichtnachweiseinrichtung, welche geeignet ist, Licht, das senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung durch die mindestens eine Aussparung der seismischen Masse durchgegangen ist, nachzuweisen.

[0012] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer Sensoranordnung zur Messung von Beschleunigungen oder Meßgrößen, die sich auf Beschleunigung zurückführen lassen, mit den Schritten zum Bereitstellen eines ersten Substrats, zumindest teilweise Anbringen einer Halbleiterschicht auf dem ersten Substrat, Herausstrukturieren einer seismischen Masse aus der Halbleiterschicht, wobei die seismische Masse aufgrund einer Kraft oder Beschleunigung beweglich ist, Herausstrukturieren

mindestens einer Aussparung senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung in der Anordnung aus Halbleiterschicht und seismischer Masse, und Anbringen mindestens einer Lichtnachweseinrichtung auf dem ersten Substrat, welche geeignet ist, Licht, das senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung durch die mindestens eine Aussparung der seismischen Masse durchgegangen ist, nachzuweisen.

[0013] Dadurch, daß die seismische Masse aus einem Halbleiter-Material hergestellt ist, können die Aussparungen, die zur Durchflutung mit Lichtstrahlen vorgesehen sind und die seismische Masse sowie deren mikromechanisch bewegliche Aufhängung, also Stege oder Biegebalken, mit den gleichen halbleitertechnologischen Ätzprozessen hergestellt werden.

[0014] Da überdies das Substrat aus einem Halbleiter-Material hergestellt ist, kann der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor mit den Verfahren der Halbleitertechnologie und Mikromechanik hergestellt werden. Entsprechend wird seine Herstellung deutlich vereinfacht, und der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor weist eine wesentlich geringere Masse als die herkömmlichen feinmechanischen Lösungen auf.

[0015] Bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Sensoranordnung ist es somit möglich, daß elektronische Bauelemente in konventioneller Weise durch bekannte Verfahren der Halbleitertechnologie in/auf einem Wafer hergestellt werden und anschließend beispielsweise mikromechanische Strukturen oberhalb dieser elektronischen Bauelemente platziert werden. Bei diesem Vorgang werden die Strukturen der elektronischen Bauelemente und die Strukturen der Mikromechanik durch bekannte Verfahren hochgenau positioniert.

[0016] Weitere vorteilhafte Effekte der Erfindung können insbesondere durch die folgenden technologischen Entwicklungen erzielt werden:

1. Mit Hilfe von Tiefenätzverfahren aus dem Bereich der Mikroelektro-Mechanik-Technologie ist es möglich, mit hohen Aspektverhältnissen fast ideal senkrechte Gräben bzw. Aussparungen in Silizium zu ätzen. Erreichbar sind dabei Aspektverhältnisse (Verhältnis Tiefe : Breite) von 20 und mehr. Durch das hohe Aspektverhältnis kann der Lichtstrahlengang vorteilhaft geformt oder geführt werden.

2. Mit Hilfe von speziell entwickelten Verbindungsverfahren ist es nunmehr machbar, daß beispielsweise zwei Wafer dauerhaft fest verbunden werden können und anschließend der obere Wafer gedünnt und mit Tiefenätzverfahren strukturiert werden kann. Entsprechend ist es möglich, Strukturen auf Waferebene mit hoher Ortskorrelation, d. h. Positioniergenauigkeit herzustellen. Entsprechend ist durch die Verarbeitungsmöglichkeit der Komponenten auf Waferebene eine starke Parallelisierung bei der Herstellung von Systemen und eine Reduzierung der Kosten möglich.

3. Bei den Ausbildungsformen mit kapazitiver Aufnahme des Sensorsignals ist es notwendig, eine niederohmig leitfähige Verbindung von den Kapazitätsstrukturen und somit der seismischen Masse zu weiterführenden elektrischen Anschlußstellen des Bauelements herzustellen. Diese Verbindung ist vorteilhafterweise für die erfindungsgemäße Sensoranordnung nicht notwendig, da die mikromechanisch beweglichen Gebiete nicht in den elektrischen Funktionskreis eingebunden sind, es sei denn, es ist eine kapazitive Anregungseinrichtung für den Selbsttest der Anordnung integriert.

[0017] Die vorliegende Erfindung wird im folgenden de-

taillierter unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben.

[0018] Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

5 [0019] Fig. 1a veranschaulicht den Wirkungsmechanismus der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0020] Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

10 [0021] Fig. 3 zeigt noch eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0022] Fig. 4 veranschaulicht den Wirkungsmechanismus der vorliegenden Erfindung in Draufsicht und in einer Schnitt-Ansicht;

15 [0023] Fig. 5 veranschaulicht mehrere Ausgestaltungen der mikromechanisch beweglichen Gebiete des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors in Draufsicht;

[0024] Fig. 6 zeigt eine weitere Draufsicht auf die erfindungsgemäße Sensoranordnung;

20 [0025] Fig. 7 veranschaulicht eine weitere bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0026] die Fig. 8a und 8b veranschaulichen jeweils eine beispielhafte Draufsicht auf das erfindungsgemäße Sensorelement; und

25 [0027] die Fig. 9a und 9b veranschaulichen jeweils eine Draufsicht auf eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensorelements.

[0028] In Fig. 1 bezeichnet Bezugszeichen 2 ein erstes Substrat, welches vorzugsweise ein Halbleiterchip, beispielsweise ein Siliziumchip ist. Dieser Siliziumchip 2 enthält mindestens eine Lichtnachweseinrichtung 3, welche beispielsweise ein in das Substrat integriertes elektronisches Bauelement sein kann. Insbesondere kann die Lichtnachweseinrichtung 3 ein lichtempfindlicher Bereich sein, dessen Impedanz sich in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge ändert. Zusätzlich können in den Siliziumchip 2 auch Halbleiterschaltungselemente 4 integriert sein, die beispielsweise eine Signalverarbeitung der Signale aus den Lichtnachweseinrichtungen 3 zulassen. Einfallende Lichtstrahlen werden mit Bezugszeichen 8 bezeichnet.

[0029] Vorzugsweise wird das erste Substrat auf Waferebene bearbeitet. Entsprechend durchläuft der Wafer, der die Siliziumchips 2 trägt, konventionell diejenige Prozessierungsabfolge, die für die Bereitstellung der lichtempfindlichen Gebiete, optional der Halbleiterschaltungselemente und deren jeweilige Verdrahtung untereinander sowie zu den Kontaktstellen (Bondpads) notwendig sind. Es ist vorteilhaft, wenn in den Oberflächenschichten, die auf dem die Siliziumchips 2 enthaltenden Wafer entstehen, darauf geachtet wird, daß eine Topographie weitgehend vermieden wird. Dies kann durch bekannte Verfahren wie beispielsweise CMP ("Chemisch-mechanisches Polieren") vermieden werden.

[0030] Die Schicht 1, aus der die seismische Masse 6 der Sensoranordnung herausstrukturiert wird, ist aus einem Halbleitermaterial hergestellt, in welches nach dem Zusammenfügen mit dem Substrat eine oder mehrere Aussparungen beispielsweise durch Ätzen eingebracht sind. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß dieses Halbleitermaterial vorzugsweise einkristallin und besonders bevorzugt einkristallines Silizium ist.

[0031] Insbesondere gilt einkristallines Silizium als besonders vorteilhaft hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften und dem Alterungsverhalten, insbesondere im Vergleich zu beispielsweise polykristallinem Silizium.

[0032] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird diese Halbleiterschicht 1 durch ein zweites Substrat realisiert, das vorzugsweise auf Wafer-

ebene bearbeitet wird.

[0033] Die durch Ätzen eingebrachten Aussparungen können die Form von Streifenstrukturen aufweisen. Es ist dem Fachmann jedoch offensichtlich, daß je nach Anwendungsbereich des Beschleunigungssensors auch andere Formen der Aussparungen zweckmäßig sind.

[0034] Vorzugsweise werden die lichtdurchlässigen Gräben weitestgehend senkrecht tiefgeätzt. Tiefgeätzt bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die Grabentiefe ein Mehrfaches der Grabenbreite annehmen kann. Genauer gesagt, weisen die Aussparungen ein Aspektverhältnis (Verhältnis Tiefe : Breite) von größer 3 auf.

[0035] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden zur Herstellung des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors zwei Wafer dauerhaft fest verbunden. Dabei werden die beiden Wafer vorzugsweise über eine Verbindungsschicht 5, die vorzugsweise Polyimid mit einer Schichtdicke im μm -Bereich umfaßt, miteinander verbunden. Vorzugsweise wird dafür das in der deutschen Offenlegungsschrift DE-A-196 39 682 beschriebene Verfahren verwendet. Der obere Wafer wird anschließend gedünnt, so daß sich eine geeignete Restschichtdicke ergibt. Die Dimensionierung der Dicke dieser monokristallinen Siliziumschicht wird vom gewünschten Aspektverhältnis von Tiefe zu Querschnitt der tief zu ätzenden Gräben bzw. Löcher und von der gewünschten seismischen Masse der beweglichen Gebiete beeinflusst.

[0036] Die auszuwählende seismische Masse hängt von den Anwendungen in der Vibrations-, Neigungsmeßtechnik oder Beschleunigungsmeßtechnik ab.

[0037] Nach dem Dünnen des oberen Wafers, welcher das zweite Substrat enthält, werden durch bekannte Tiefenätzprozesse die Aussparungen geätzt. Um die elektrische Verbindung zwischen den Gebieten der Lichtnachweeinrichtung und sensorexternen Einrichtungen zu ermöglichen, müssen Kontaktflächen 17 vorhanden sein, die vorzugsweise auf dem ersten Substrat 2 angeordnet werden. Diese Kontaktflächen 17 dürfen nicht von der die seismische Masse tragenden Schicht abgedeckt sein. Erreicht wird dies beispielsweise durch selektives Entfernen der Schicht vorzugsweise gleichzeitig mit der Herstellung der Aussparungen zum Bereitstellen der seismischen Masse. Eine beispielhafte Anordnung ist jeweils in Fig. 8a und 8b gezeigt.

[0038] Vor der Fixierung des oberen Wafers auf dem unteren Wafer, welcher das erste Substrat enthält, werden Justierstrukturen in einer Ätztiefe in die Oberfläche des oberen Wafers außerhalb den späteren beweglichen Gebieten der seismischen Masse geätzt, die der späteren Restdicke des oberen Wafers entspricht. Damit wird einerseits die Justage der beiden Wafer zueinander, andererseits aber auch die Dünnung auf die gewünschte Restdicke unterstützt.

[0039] Nach dem Vorliegen der tiefgeätzten Graben-/Löchergebiete in dem oberen Wafer für die Gebiete der seismischen Masse und der Lichtkanäle kann durch diese Löcher ein Trockenätzprozeß zur Entfernung der Verbindungsschicht durchgeführt werden. Wie in den Figuren ersichtlich ist, sorgt die seitliche Unterätzungseigenschaft dafür, daß bewegliche mikromechanische Gebiete entstehen können.

[0040] Anschließend kann zur Versiegelung des Sensors ein Deckel, beispielsweise ein Deckel aus Pyrex oder eine wie unter Bezugnahme auf Fig. 2 beschriebene Linse aufgebracht werden.

[0041] Es ist somit durch eine geeignete topologische Strukturierung der Grabengebiete nach den bekannten Verfahren möglich, mikromechanisch bewegliche Gebiete, welche die seismische Masse darstellen, herzustellen. Befinden sich diese mikromechanisch beweglichen Gebiete ortskorrigiert über den lichtempfindlichen Gebieten im Siliziumchip

2, so bildet sich von den einfallenden Lichtstrahlen 8 ein Schattenbild und ein entsprechendes elektrisches Signal in den Lichtnachweeinrichtungen in Siliziumchip 2. Bewegen sich nun die mikromechanisch beweglichen Gebiete der seismischen Masse infolge der Einwirkung einer beispielsweise linearen Beschleunigung, so ändert das Schattenbild seinen Ort relativ zu den lichtempfindlichen Gebieten im Siliziumchip 2, und entsprechend wird das elektrische Signal verändert.

[0042] Fig. 1a veranschaulicht beispielhaft den Zustand im Fall einer einwirkenden Beschleunigung, wobei die Beschleunigung in der Ebene der Hauptoberfläche des Siliziumchips 2 bzw. der seismischen Masse liegt. Die entsprechende Auslenkung der seismischen Masse ist in den Fig. 4a bis 4c jeweils in Draufsicht bzw. Schnitt-Ansicht gezeigt.

[0043] Zur Herstellung des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors ist es aber nicht unbedingt erforderlich, daß zwei Wafer über Waferverbindungstechniken miteinander verbunden werden und anschließend die seismische Masse in dem oberen Wafer definiert wird. Ebenso ist es beispielsweise möglich, auf dem unteren Wafer weitere Halbleiterschichten abzuscheiden, die anschließend mit Tiefenätzverfahren entsprechend strukturiert werden, um die mikromechanisch beweglichen Gebiete bereitzustellen.

[0044] Beispielsweise ist nicht auszuschließen, daß auf dem unteren Wafer, der das erste Substrat darstellt und die Lichtnachweeinrichtungen 3 beinhaltet, eine Schicht aus Polysilizium mit einer Dicke im Bereich mehrerer μm , beispielsweise 5 bis 15 μm , epitaktisch erzeugt wird. Durch ein derartiges Verfahren kann beispielsweise ein je nach Anwendungsfall geeigneter Kompromiß aus technischer Eigenschaft des Materials der seismischen Masse und den Kosten des Herstellungsverfahrens eingegangen werden. Dabei wird also einerseits ein evtl. gegenüber dem optimalen monokristallinen ein weniger optimales Material gewählt aber andererseits evtl. die Notwendigkeit des Dünnens des oberen Wafers eingespart.

[0045] Es sind überdies auch andere geeignete Herstellungsverfahren für die erfindungsgemäße Sensoranordnung denkbar.

[0046] Andererseits hat eine durch das zuvor beschriebene Verfahren der Waferverbindungstechnik hergestellte Sensoranordnung den Vorteil, daß weitere Halbleitergebiete bzw. -bauelemente in die Halbleiterschicht 1 integriert werden können, weil bauelementefähiges monokristallines Material zum Einsatz kommt.

[0047] Fig. 2 veranschaulicht eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Sensoranordnung, die zusätzlich eine Linse 9, welche auf der Halbleiterschicht 1 aufgebracht ist, umfaßt. Diese Ausführungsform ist dann vorteilhaft, wenn das in der Lichtnachweeinrichtung 3 nachzuweisende Licht das natürliche Umgebungslicht ist. In diesem Fall muß man davon ausgehen, daß die Lichtstrahlen eine diffuse Ausrichtung haben. Zur Bündelung dieser Lichtstrahlen wird daher bei dieser Ausführungsform eine Linse vorgesehen. Der Einsatz von Techniken aus der Mikrooptik zur Bereitstellung geeigneter Linsen ist dabei denkbar. Beispielsweise kann die Linse 9 durch eine zweite Verbindungsschicht 10 auf der Halbleiterschicht aufgebracht werden. Alternativ ist ebenfalls möglich, die Anordnung aus dem Siliziumchip 2 und der Halbleiterschicht in ein Gehäuse zu montieren und in dem Gehäuse die Linse 9 zu montieren.

[0048] Fig. 3 zeigt den Fall, in dem anstelle des natürlichen Umgebungslichts eine definierte technische Lichtquelle verwendet wird. Beispielsweise kann mit der in Fig. 1 gezeigten Anordnung ein weiterer Halbleiter-Chip 11, welcher lichtemittierende Elemente 12 enthält, über die Verbin-

dungsschicht 10 verbunden sein.

[0049] Dabei ist bei den in den Fig. 2 und 3 gezeigten Anordnungen zu berücksichtigen, daß die Verbindungsschicht 10 jeweils so gestaltet sein muß, daß die Beweglichkeit der mikromechanischen Gebiete nicht unterbunden wird.

[0050] Die ortskorrelierte Anordnung von Löchern in der seismischen Masse gegenüber den Lichtnachweiseinrichtungen im Siliziumchip 2 kann selbstverständlich nach bekannten Versatz- oder Winkelvorsatz-Prinzipien aus dem Fachgebiet der Optik gestaltet werden.

[0051] In Fig. 5a bis 5c ist gezeigt, wie die mikromechanisch beweglichen Gebiete der seismischen Masse mit dem restlichen Halbleitermaterial derselben Ebene, welches nicht beweglich ist, beispielsweise dem Rahmen 15 des oberen Siliziumchip 1, verbunden ist. Vorzugsweise sind die mikromechanisch beweglichen Gebiete der seismischen Masse 6 mit dem restlichen Halbleitermaterial über eine dünne Balkenstruktur 13, beispielsweise einen Siliziumbiegebalken, verbunden.

[0052] Wie in Fig. 5a gezeigt ist, kann dieser Balken gerade geformt sein, er kann aber auch, wie in Fig. 5b gezeigt ist, gekrümmt sein, wobei die Krümmung zur Vermeidung von Kerbspannungen nicht durch Knicke sondern eher durch abgerundete Knicke bewirkt wird.

[0053] Eine weitere mögliche Ausgestaltung des Balkens ist in Fig. 5c gezeigt. Die in Fig. 5c gezeigte Struktur enthält überdies noch eine Anregungseinrichtung 16 für den Selbsttest. Bei einer solchen Anregungseinrichtung wird eine Schwingung der seismischen Masse kapazitiv angeregt, so daß eine Eichung bzw. ein Selbsttest der Sensoranordnung möglich ist.

[0054] Fig. 6 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der mehrere Lichtnachweiszonon 3 örtlich versetzt zueinander angeordnet sind. Dabei gibt Bezugszeichen 14 die Umrandung der seismischen Masse an, die also mehrere längere gerade Aussparungen aufweist. Damit in der Zeichnung erkennbar ist, wo sich Lichtnachweisgebiete unter der seismischen Masse befinden und wo nicht und wie die Lichtnachweisgebiete geometrisch zueinander angeordnet sind, ist die seismische Masse durchsichtig skizziert, ihre räumliche Ausdehnung ist jedoch anhand der Umrandung 14 erkennbar. Die gezeigte Anordnung kann insbesondere die Zielsetzung unterstützen, erstens fertigungsbedingte Justagetoleranzen durch elektrische Selektion bestimmter Lichtnachweisgebiete auszugleichen oder/und zweitens durch geeignete Differenz- bzw. Summenbildung von Signalen aus den Lichtnachweisgebieten störende Rauschsignale zu verringern. Ebenso wird mit dieser Ausbildungsform nahegelegt, daß durch eine geeignete Kombination von Aussparungen innerhalb der Halbleiterschicht 1 und der seismischen Masse und den Lichtnachweiseinrichtungen 3 sowohl die Richtung als auch der Betrag der Beschleunigung erfaßt werden kann.

[0055] Fig. 7 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor geeignet ist, Beschleunigungen bezüglich zweier zueinander senkrecht stehender Richtungsachsen x und y nachzuweisen.

[0056] In Fig. 7 bezeichnen dieselben Bezugszeichen wie in den vorhergehenden Figuren dieselben Komponenten. Darüber hinaus bezeichnet Bezugszeichen 22 ein erstes Federsystem zum Nachweis einer Beschleunigung in der y-Richtung, und Bezugszeichen 23 bezeichnet ein zweites Federsystem zum Nachweis einer Beschleunigung in der x-Richtung.

[0057] Der in Fig. 7 gezeigte Beschleunigungssensor umfaßt zwei Biegebalken-Federsysteme, deren jeweilige Hauptfederwegrichtung in einem Winkel von 90° zueinan-

der verläuft. Die Federsysteme sind wieder vorzugsweise durch Siliziumbiegebalken mit einem hohen Aspektverhältnis von Breite zu Höhe des Balkenquerschnitts realisiert. Derartige Federsysteme sind dahingehend vorteilhaft, daß die Querempfindlichkeit zu einer Beschleunigungskraft, die nicht in der vorgesehenen Wirkrichtung verläuft, recht gering gehalten werden kann. Daraus folgt, daß die beiden Federsysteme jeweils mit guter Richtungsselektivität arbeiten. In dem in Fig. 7 gezeigten Beschleunigungssensor ist die seismische Masse 6 in Draufsicht kreuzförmig gebildet. Die Lichtnachweiseinrichtung 3 ist in Fig. 7 durch 4 lichtempfindliche Gebiete 31, 32, 33, 34 realisiert, die jeweils durch die seismische Masse 6 in Abhängigkeit der zu messenden Beschleunigung beschattet werden. Es ist dem Fachmann offensichtlich, daß die seismische Masse nicht nur kreuzförmig gebildet sein kann, sondern jede Form annehmen kann, die eine derartige Strukturierung aufweist, daß ihre Verschiebung in zwei Dimensionen durch die lichtempfindlichen Gebiete 31, 32, 33, 34 aufgelöst werden kann.

[0058] Einrichtungen zur Durchführung eines Selbsttests sind zwar in Fig. 7 nicht gezeigt, sind aber durchaus äquivalent zu Fig. 5c integrierbar und zwar für beide Achsen der Sensoreinrichtung.

[0059] Die Fig. 8a und 8b zeigen jeweils eine Draufsicht auf die Halbleiterschicht 1 der erfindungsgemäßen Sensoranordnung. Dabei bezeichnet Bezugszeichen 1 die Halbleiterschicht, Bezugszeichen 6 die seismische Masse, die über einen Steg bzw. Biegebalken 13 mit dem Rahmengebiet 15, welches vorzugsweise genauso groß wie der Substratchip ist, der Halbleiterschicht 1 verbunden ist, und Bezugszeichen 17 bezeichnet Aussparungen in der Halbleiterschicht 1 am Ort der elektrischen Kontaktflächen auf dem Substrat.

[0060] Bei der in Fig. 8a gezeigten Anordnung ist die Aussparung der Anordnung aus Halbleiterschicht und seismischer Masse so gestaltet, daß das Licht an der seismischen Masse vorbei auf die Lichtnachweiseinrichtung im Substrat einstrahlen kann. Im unbeschleunigten Zustand schattet also die herausstrukturierte seismische Masse 6 die Lichtnachweiseinrichtung 3 weitgehend ab, so daß die Lichtnachweiseinrichtung 3 ohne einwirkende Beschleunigung ein Minimalsignal liefert.

[0061] Ebenso ist es aber auch möglich, wie in Fig. 8b gezeigt ist, daß die Lichtnachweiseinrichtung ohne einwirkende Beschleunigung ein Maximalsignal liefert. In diesem Fall kann die seismische Masse beispielsweise ringförmig ausgestaltet sein, wobei eine Aussparung im wesentlichen im Zentrum der seismischen Masse zum Durchtritt von Licht ausgebildet ist. Im unbeschleunigten Zustand ergibt sich ein Maximalsignal, da die Lichtnachweiseinrichtung weitgehend unbeschattet ist.

[0062] In Fig. 8a und 8b sind überdies Aussparungen 17 in der Halbleiterschicht 1 veranschaulicht, die eine elektrische Kontaktierung zwischen beispielsweise der Lichtnachweiseinrichtung und sensorexternen elektrischen Einrichtungen ermöglichen.

[0063] Die Fig. 9a und 9b zeigen jeweils eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Auslenkungsbegrenzungen 18 zur Vermeidung von mechanischen Überlastungen des seismischen Biegebalkens 13, die in den erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor integriert werden können. Überschreitet die zu messende Beschleunigung den Maximalwert dessen, was bei bestimmungsgemäßem Gebrauch an Auslenkung der seismischen Masse zulässig ist, so verhindert die Auslenkungsbegrenzung, daß durch die überlastmäßige Biegung der Biegebalken bzw. des Stegs ein Balkenbruch auftritt.

[0064] Insbesondere zeigt Fig. 9b eine federnde und somit zweistufige Auslenkungsbegrenzung, d. h. die Auslen-

kungsbegrenzung 18 ist ihrerseits an einem Biegebalken 19 befestigt. In der ersten Stufe der Begrenzung liegt die seismische Masse 6 am Anschlagpunkt auf. Die weitere Auslenkung wird abgedämpft durch die Biegeeigenschaft des Biegebalkens 19. Erst bei Erreichen einer Überlastbeschleunigung, die groß genug ist, um auch den Biegebalken 19 der Auslenkungsbegrenzung bis zum Endanschlag auszulenken, tritt als zweite Stufe der Auslenkungsbegrenzung der Stop der weiteren Auslenkung ein. Der Vorteil hierbei ist, daß bei Überlastbeschleunigungen die seismische Masse nicht mit ihrem kinetischen Energieinhalt auf die Anschlagfläche hart aufschlägt. Die Anschlagfläche ist zur Vermeidung von Stickingeinflüssen vorteilhafterweise relativ klein gehalten, was wiederum bei harten Anschlägen zu evtl. Materialabsplitterungen führen könnte. Bei Verwendung der gefeder- 15 ten Überlastbegrenzung können harte Anschläge zumindest in einer Stufe 1 an Überlastungsstreß verringert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Sensoranordnung zur Messung von Beschleunigungen oder Meßgrößen, die sich auf Beschleunigung zurückführen lassen, mit den Schritten zum
Bereitstellen eines ersten Halbleiter-Substrats (2),
Anbringen mindestens einer Lichtnachweiseinrichtung (3) auf dem ersten Halbleiter-Substrat (2),
zumindest teilweises Anbringen einer Halbleiterschicht (1) auf dem ersten Halbleiter-Substrat (2),
Herausstrukturieren einer seismischen Masse (6) aus der Halbleiterschicht (1), wobei die seismische Masse (6) aufgrund einer Kraft oder Beschleunigung beweglich ist,
Herausstrukturieren mindestens einer Aussparung (7) senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung in der seismischen Masse (6),
wobei die Lichtnachweiseinrichtung (3) geeignet ist, Licht (8), das senkrecht zur Ebene der auftretenden Beschleunigung durch die mindestens eine Aussparung (7) der seismischen Masse (6) durchgegangen ist, nachzuweisen,
dadurch gekennzeichnet, daß
das erste Halbleiter-Substrat (2) ein erster Halbleiter-Wafer ist und der Schritt zum zumindest teilweisen Anbringen einer Halbleiterschicht (1) auf dem ersten Halbleiter-Substrat (2) den Schritt zum Verbinden des ersten Halbleiter-Substrats (2) mit einem zweiten Halbleiter-Wafer umfaßt, und
der Schritt zum Herausstrukturieren der mindestens einen Aussparung (7) nach dem Schritt zum Verbinden des ersten Halbleiter-Substrats (2) mit dem zweiten Halbleiter-Wafer auf Waferebene erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleiter-Substrat (2) ein Silizium-Substrat ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (1) aus einkristallinem Silizium besteht.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiter-Wafer durch eine Polyimid-Schicht mit dem ersten Halbleiter-Substrat (2) zumindest teilweise verbunden wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Verbinden von erstem Substrat (2) und Halbleiterschicht (1) die Halbleiterschicht (1) gedünnt wird und die Aussparungen (7) in die Halbleiterschicht (1) eingebracht werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch

den Schritt zum teilweisen Entfernen der Polyimid-Verbindungsschicht (5) nach dem Schritt zur Erzeugung der wenigstens einen Aussparung in dem Gebiet der seismischen Masse (6), wobei die Polyimid-Verbindungsschicht (5) mindestens in dem Gebiet unterhalb der seismischen Masse (6) und deren Aufhängung an den unbeweglichen Gebieten der Halbleiterschicht (1) entfernt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt zum Bereitstellen der mindestens einen Lichtnachweiseinrichtung (3) den Schritt zum Integrieren eines elektronischen Bauelements in das erste Substrat (2) umfaßt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Lichtnachweiseinrichtung (3) ein lichtempfindlicher Bereich ist, dessen Impedanz sich in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge ändert.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt zum Herausstrukturieren der mindestens einen Aussparung (7) den Schritt zum Herstellen mehrerer Aussparungen in Form einer Streifenstruktur umfaßt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Aussparung (7) ein Aspektverhältnis von Höhe zu Breite der Aussparung von größer 3 aufweist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt zum Anordnen einer Linse (9) auf der von dem ersten Substrat (2) abgewandten Seite der seismischen Masse (6).

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt zum Bereitstellen eines Decksubstrats (11), auf dem mindestens eine lichternittierende Vorrichtung (12) angebracht wird, oberhalb der Stapelanordnung aus erstem Substrat (2) und Halbleiterschicht (1).

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Decksubstrat (11) aus Silizium besteht.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt zum Bereitstellen des Decksubstrats (11) den Schritt zum Integrieren eines elektronischen Bauelements als die mindestens eine lichternittierende Vorrichtung (12) im Decksubstrat umfaßt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt zum Anbringen einer Anregungseinrichtung (16) für den Selbsttest.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Aussparung (7) durch Ätzen in die Anordnung aus Halbleiterschicht (1) und seismischer Masse (6) eingebracht wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Masse (6) derart ausgebildet ist, daß die Lichtnachweiseinrichtung (3) im Beschleunigungszustand der Sensoranordnung ein Maximalsignal abgibt.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Masse (6) derart ausgebildet ist, daß die Lichtnachweiseinrichtung (3) im Beschleunigungszustand der Sensoranordnung ein Minimalsignal abgibt.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt zum Anbringen eines Auslenkungsbegrenzungselements (18), welches geeignet ist, die maximale Auslenkung der

seismischen Masse zu begrenzen.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Auslenkungsbegrenzungselement (18) einen Biegebalken (19) umfaßt, wodurch eine zweistufige Auslenkungsbegrenzung ermöglicht wird. 5

21. Sensoranordnung zur Messung von Beschleunigungen oder Meßgrößen, die sich auf Beschleunigung zurückführen lassen, die durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20 herstellbar ist.

22. Sensoranordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß sie mehrere Lichtnachweiseinrichtungen (31, 32, 33, 34) aufweist, 10

die seismische Masse (6) durch mindestens 2 Federsysteme (22, 23), die eine Fixierung in zwei zueinander senkrechten Richtungen sicherstellen, an den unbeweglichen Gebieten (15) der Halbleiterschicht (1), aus der die seismische Masse (6) herausstrukturiert ist, befestigt sind, und 15

die Aussparungen der seismischen Masse in örtlicher Korrelation und Formgebung gegenüber den Lichtnachweiseinrichtungen (31, 32, 33, 34) derart ausgestaltet sind, daß ein Nachweis der Beschleunigung in zwei Richtungen möglich ist. 20

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

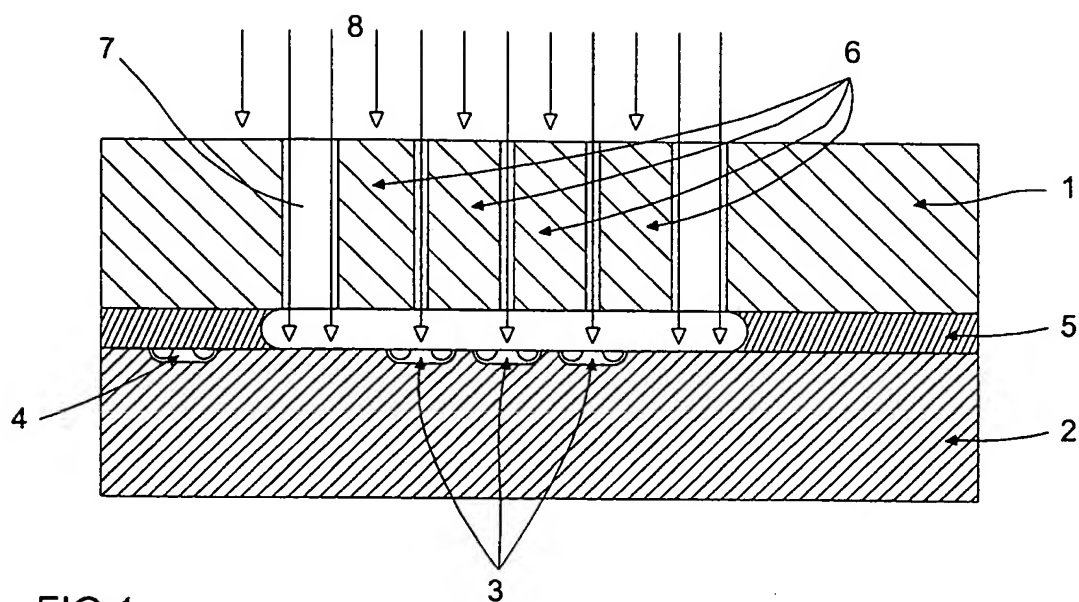


FIG.1

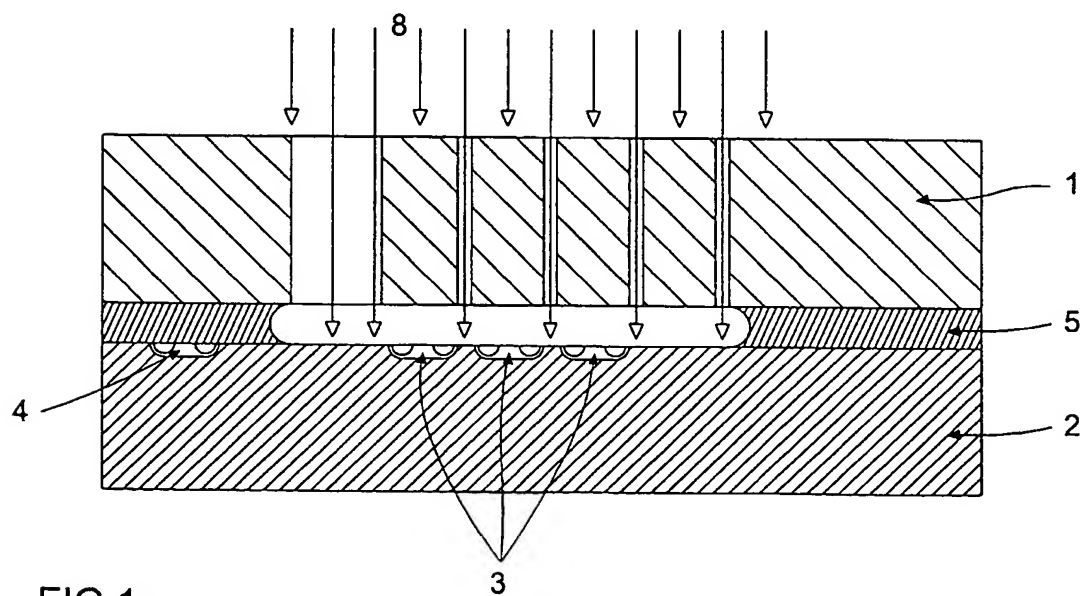


FIG.1a

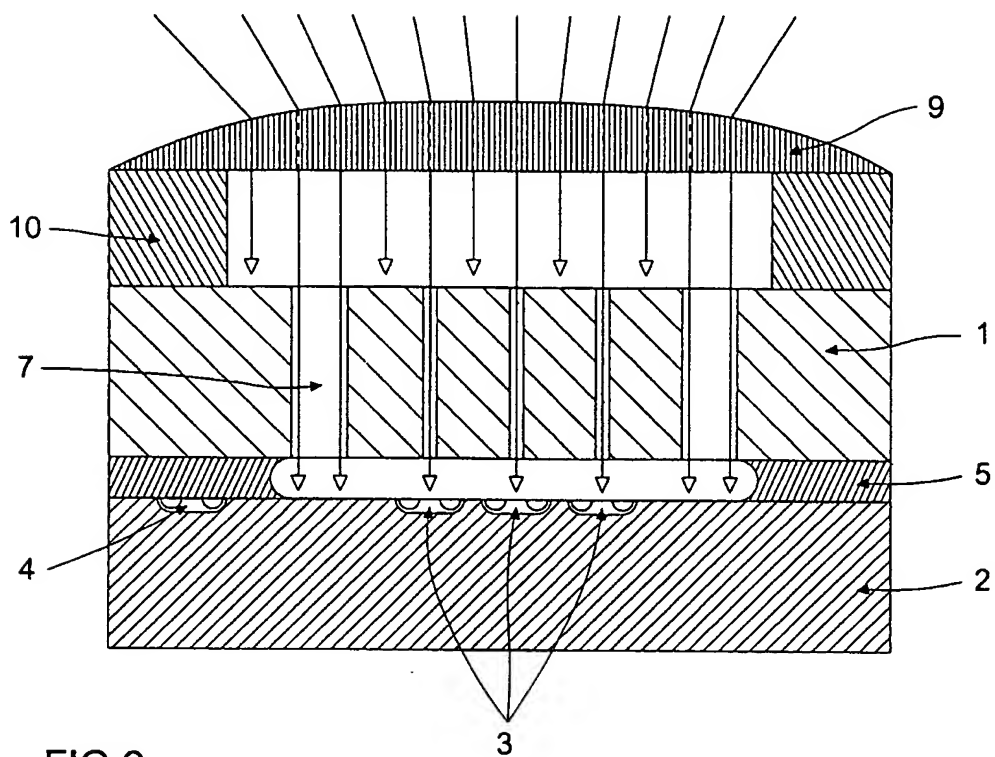


FIG.2

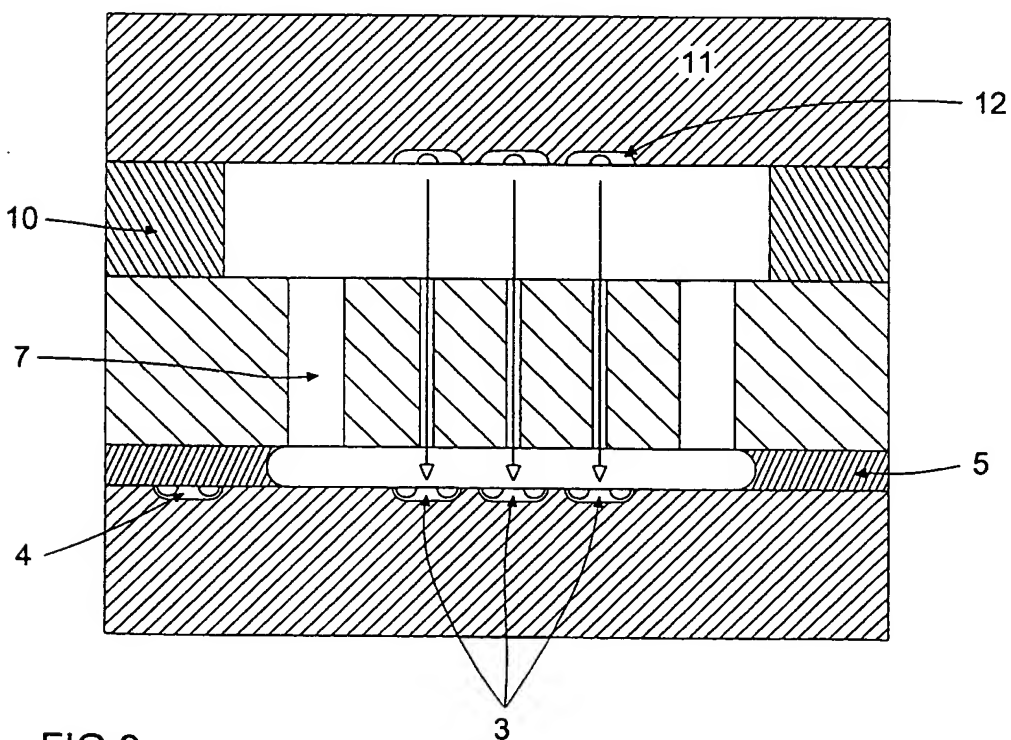


FIG.3

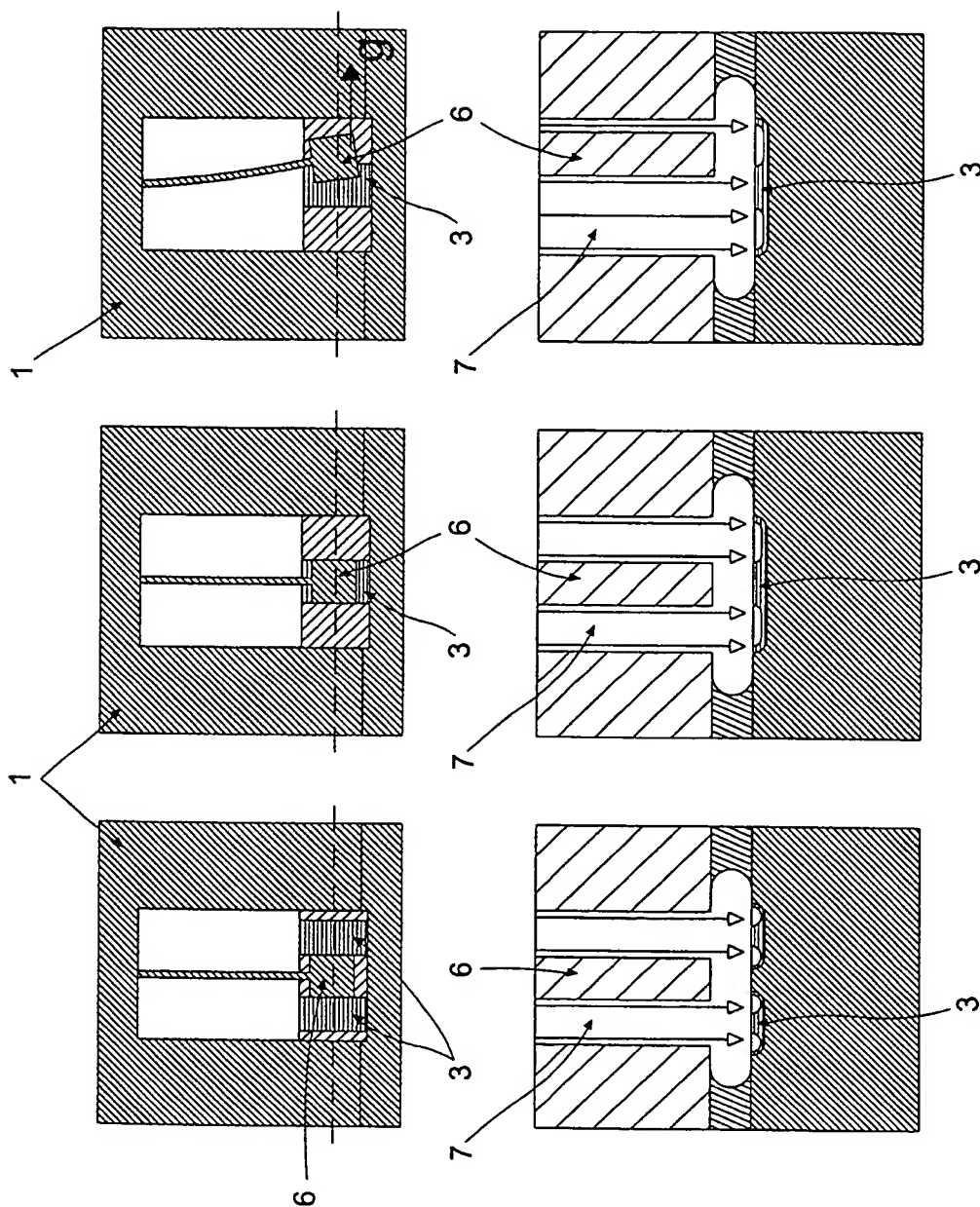


FIG. 4c

FIG. 4b

FIG. 4a

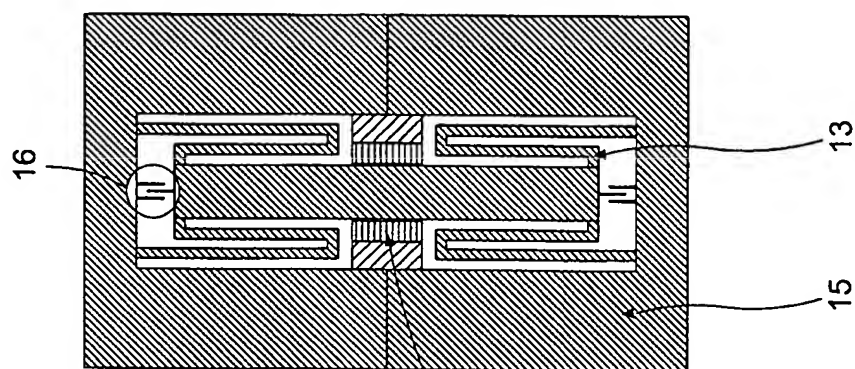


FIG. 5c

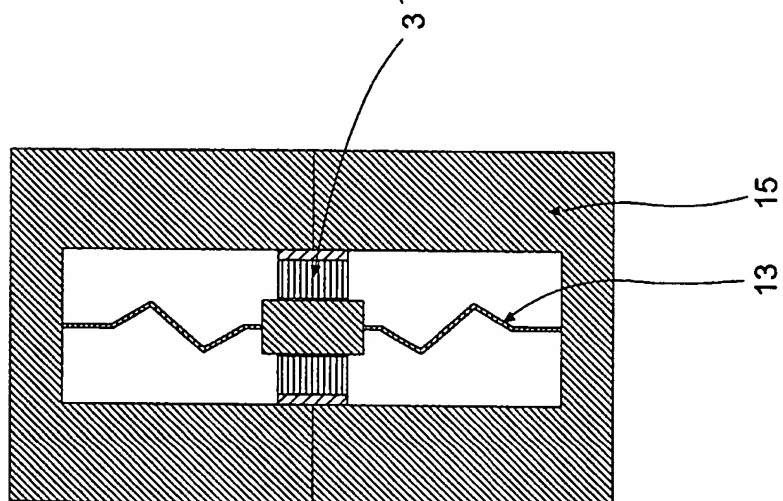


FIG. 5b

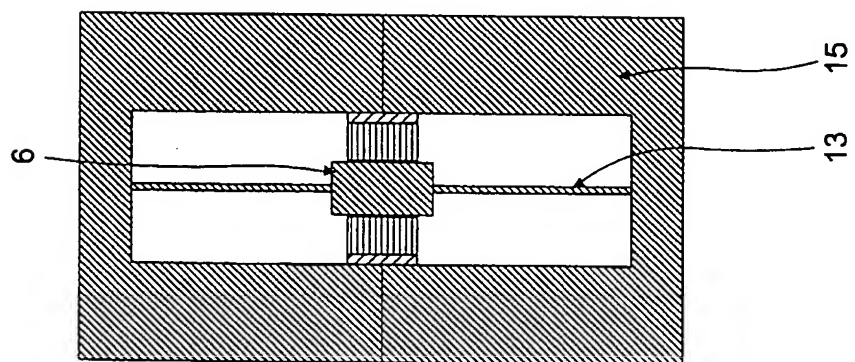


FIG. 5a

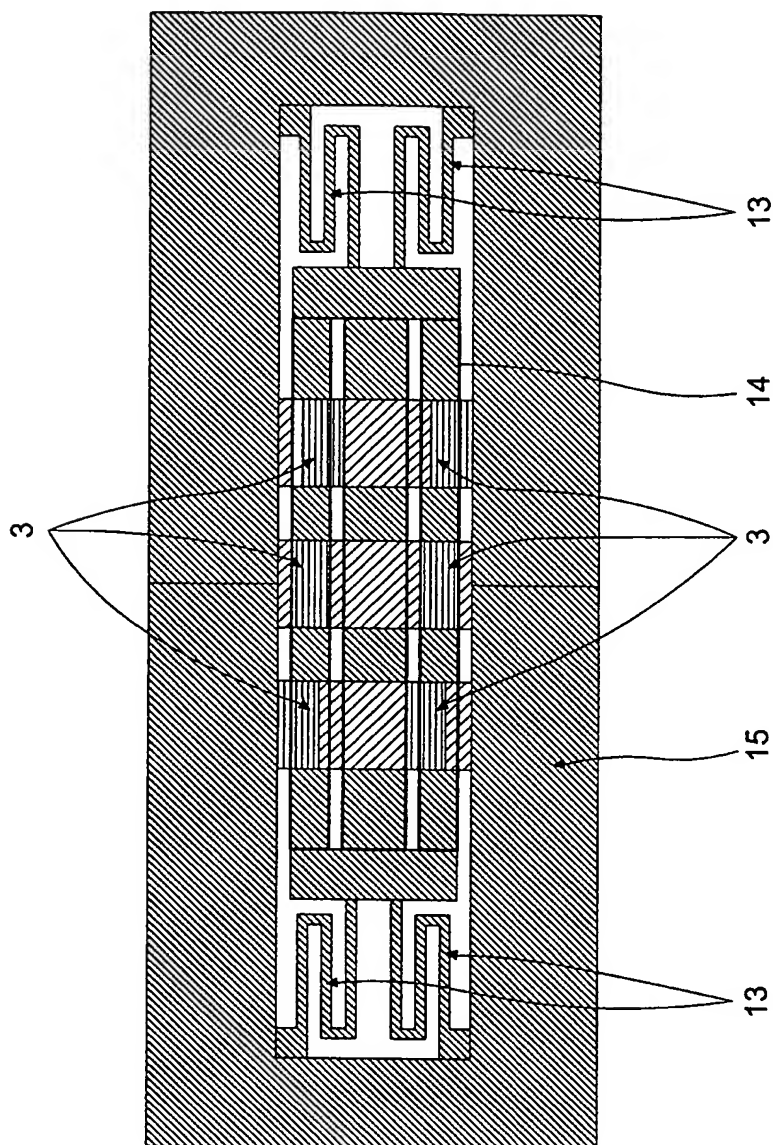


FIG. 6

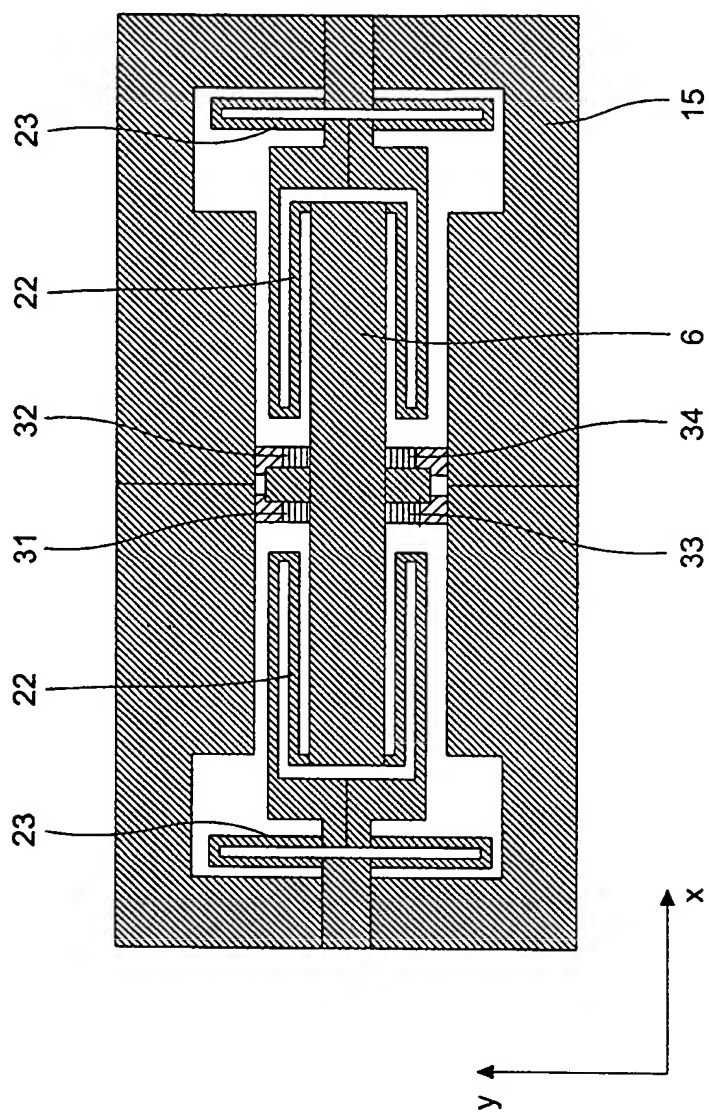


FIG. 7

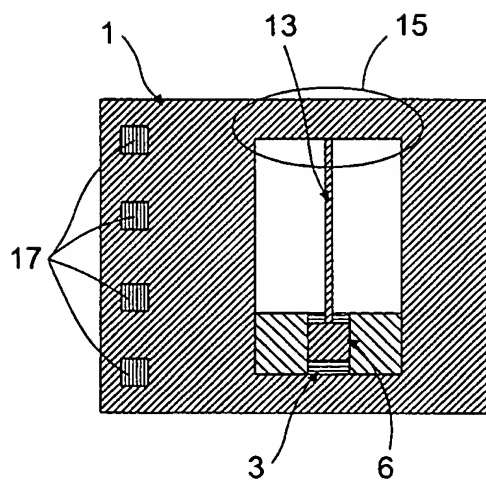


FIG. 8a

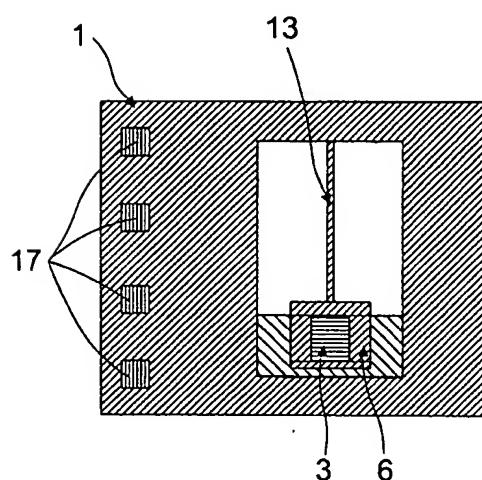


FIG. 8b

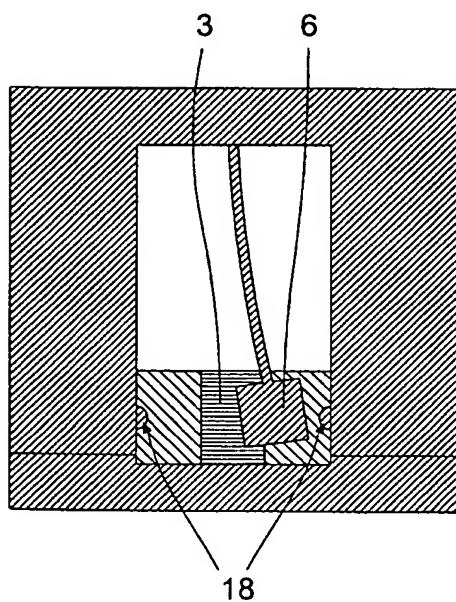


FIG. 9a

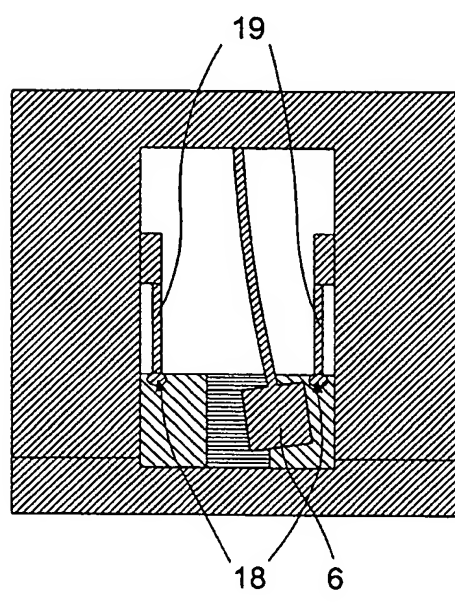


FIG. 9b

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.